

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-124901

(43)公開日 平成6年(1994)5月6日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 21/205				
C30B 25/02		Z 9040-4G		
25/10		9040-4G		

審査請求 未請求 請求項の数3(全7頁)

(21)出願番号 特願平4-271512

(22)出願日 平成4年(1992)10月9日

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 鎌田 良行

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72)発明者 柳川 久治

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

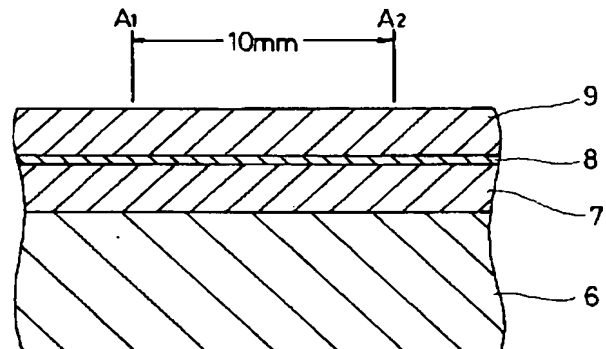
(74)代理人 弁理士 長門 侃二

(54)【発明の名称】 化合物半導体薄膜の製造方法

(57)【要約】

【目的】 面内で組成が変化している化合物半導体薄膜の製造方法を提供する。

【構成】 この方法では、半導体基板6の表面にMOCVD法で化合物半導体薄膜8を成膜する際に、前記半導体基板6の面内温度を変化させることにより、面内(A<sub>1</sub>からA<sub>2</sub>)で組成が変化する化合物半導体薄膜を成膜させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板の表面に有機金属気相成長法で化合物半導体薄膜を成膜する際に、前記半導体基板の面内温度を変化させることにより、面内で組成が変化する化合物半導体薄膜を成膜させることを特徴とする化合物半導体薄膜の製造方法。

【請求項2】 発熱体の上に配置され、面内で厚みが増しているスペーサに前記半導体基板を密着状態で載置し、前記発熱体を発熱させて前記半導体基板の面内温度を変化させる請求項1の化合物半導体薄膜の製造方法。

【請求項3】 発熱体とスペーサと半導体基板をこの順序で重ね合わせた状態で前記発熱体を発熱させる際に、前記半導体基板と前記スペーサとの間、または、前記スペーサと前記発熱体との間に、面内で相互の間隔が変化する空隙を形成して前記半導体基板の面内温度を変化させる請求項1の化合物半導体薄膜の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は有機金属気相成長法（以下、MOCVD法という）による化合物半導体薄膜の製造方法に関し、更に詳しくは、成膜された薄膜における面内での組成が変化している化合物半導体薄膜の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】受発光素子、半導体光導波路デバイス、各種の電子デバイスなどの製造時には、概ね、半導体基板の上に複数層の化合物半導体薄膜が積層される。例えば、半導体光導波路デバイスの場合、InPのような半導体基板の上に、InGaAsPのような化合物半導体の薄膜が、下部クラッド層、コア層、上部クラッド層として順次成膜される。そして、これら化合物半導体薄膜の成膜には、MOCVD法が広く採用されている。

【0003】このMOCVD法では、密閉容器の中に半導体基板を保持し、その表面温度を所定温度に制御した状態で、容器内に原料ガスを送入して原料間の反応を進め、基板表面に目的組成の化合物半導体薄膜を所望の厚みでエピタキシャル成長させている。ところで、半導体光導波路デバイスにおいては、導波路内で、光の伝搬モードを変換させる場合がある。この場合、コア層を構成する化合物半導体の組成を光の伝搬方向で徐々に変化させるという処置が取られている。

【0004】成膜する化合物半導体の組成を膜面内で変化させる方法としては、例えば、半導体基板の表面にSiO<sub>2</sub>膜のような成長防止膜をストライプ状に複数本形成してMOCVD法を行ない、このときに、この成長防止膜の幅を変化させることにより、成長防止膜が形成されていない領域に成長する化合物半導体の組成を制御するという方法がある（Journal of Crystal Growth, 107 (1991), 147~150を参照）。

【0005】そして、この方法を利用することにより、

基板の上にSiO<sub>2</sub>膜をその幅が2~5μmの範囲で変化するように成膜し、残余の基板表面にInGaAs/InGaAsPMQWをコアとする導波路を形成することにより、導波路内の波長シフトが50nmであるデバイスが提案されている（1991年電子情報通信学会秋期大会予稿集、C-131）。

【0006】上記文献では、このような現象は、SiO<sub>2</sub>膜（成長防止膜）の広幅部分と、狭幅部分とにおける原料原子の拡散量が相違しているため、成膜個所（SiO<sub>2</sub>膜以外の基板上の個所）に成長する化合物半導体薄膜の組成が変化することに基づくものであるとの説明がなされている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記した方法による化合物半導体薄膜の組成変化は、原理的には、成長防止膜の近辺における原料原子間の拡散量の相違現象を利用するものである。そのため、この方法では、半導体基板の面内で、しかも広い領域に亘って成膜する化合物半導体薄膜の組成を制御することは事実上、不可能である。

【0008】また、上記方法で互いに近接した導波路の組成を変化させようとした場合には、これら近接する導波路の間に形成する成長防止膜の幅は当初から狭幅に設計せざるを得ないので、その成長防止膜の幅を長手方向で変化させるということは事実上不可能である。本発明は、MOCVD法で成膜する化合物半導体薄膜の組成を変化させようとした場合における上記問題を解決し、半導体基板の表面に成膜させる化合物半導体薄膜の組成を、基板表面で広範囲に亘って変化させることができる化合物半導体薄膜の製造方法の提供を目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】ところで、他の条件が同じであれば、MOCVD法においては、半導体基板上に成長する化合物半導体薄膜の組成は、そのときの成長温度によって規定されるという事実が知られている。本発明者らは、上記事実の確認実験を行なった。すなわち、まず、InP基板の上にInGaAsPから成る薄膜層をMOCVD法で成長させるときに、供給原料など他の因子を同一状態にして基板温度を制御することにより薄膜の成長温度（T<sub>g</sub>）を変化させた。そして、得られたデバイスにつき導波路からの発光波長を測定し、その発光波長と成長温度との関係をプロットした。図1はその結果を示す。

【0010】図1から明らかなように、成長温度が約15℃変化すると、得られたデバイスにおける発光波長は30~40nmシフトしている。このことは、デバイスのコア層を構成しているInGaAsP薄膜の組成が、成長温度によって変化しているということを間接的に示すものである。一方、誘導加熱方式で半導体基板を加熱するMOCVD法において、サセプタ（誘導発熱体）と半導体基板の間に石英スペーサを介装して、InGaA

3

s P 薄膜をコアとするデバイスを製造する実験を行なった。このとき、石英スペーサとして、厚みが2.6mm、3.0mmのものを、サセプタ、石英スペーサ、半導体基板を互いに密着した場合と、また、2.6mmの石英スペーサをサセプタに密着載置し、その石英スペーサと半導体基板との間に0.4mmの空隙を置いた場合につき実験を行 \*

4

\* になった。それぞれの場合に得られたデバイスにつき、その発光波長を測定した。石英スペーサの介装状態と発光波長との間では表1で示すような結果が得られた。

【0011】

【表1】

ケース	石英スペーサの厚み (mm)	発光波長 ( $\mu\text{m}$ )	基板への伝熱状態
ケース1	2.6	1.259	最も良い (基板温度は高い)
ケース2	3.0	1.280	中間
ケース3	2.6 空隙0.4	1.342	最も悪い (基板温度は低い)

ケース1とケース2を比較して明らかなように、石英スペーサの厚みが0.4mm厚くなって半導体基板の温度が低下した場合には、発光波長が約20nmシフトしている。この波長シフト量は、図1の結果を参照すると、石英スペーサの厚み増により、半導体基板の温度が約10℃低下していることに相当する結果である。

【0012】また、ケース1とケース3を比較して明らかなように、石英スペーサと半導体基板の間に空隙を設けると、発光波長は更にシフトしてそのシフト量は約70nmになっている。更に、本発明者らは、石英スペーサと半導体基板との間に空隙を形成した場合、この空隙の間隔が発光波長に及ぼす影響を把握するために、次のような実験を行なった。

【0013】すなわち、まず、図2で示すように、厚み3.0mmの石英スペーサ1の表面に、深さが0.4mmで幅が15mmの座ぐり部2を形成し、この石英スペーサをサセプタ3に密着して載置する。そして、厚みが0.4mm、幅15mmのInP基板4の一端4aを、上記座ぐり部2の一端2aから約1mmずらした状態で配置する。したがって、基板4は、座ぐり部2内に傾斜状態で配置され、石英スペーサ1と基板4の間には基板4の他端4bに向かって直線的に間隔が広まっていく空隙5が形成される。

【0014】この状態で誘導加熱によりサセプタ3を発熱させ、基板4の上にInGaAsPから成る薄膜層を形成した。得られたデバイスにつき、基板4の一端4aから他端4bに至る基板上の各位置における発光波長を測定した。その結果、基板の一端4aからの基板上の距離と発光波長との間では、図3のような関係が見出された。

【0015】図3から明らかなように、空隙5の間隔が広がるにつれて、基板上の導波路では発光波長が略直線的に高波長側にシフトしていく。このことは、基板上

の成長温度も略直線的に変化し、その影響を受けて、成長するInGaAsPの組成も変化していくことを示している。本発明者は、上記した3つの実験結果を考察し、基板表面の温度をその面内で適切に制御することにより、その温度に対応して成膜された化合物半導体薄膜の組成をその薄膜の面内で変化させることができるとの着想を得、この着想に基づいて本発明方法を開発するに至った。

【0016】すなわち、本発明の化合物半導体薄膜の製造方法は、半導体基板の表面にMOCVD法で化合物半導体薄膜を成膜する際に、前記半導体基板の面内温度を変化させることにより、面内で組成が変化する化合物半導体薄膜を成膜させることを特徴とする。本発明において、半導体基板の加熱手段としては、例えば誘導加熱方式、抵抗加熱方式などが採用される。

【0017】誘導加熱方式で基板を加熱する場合、前記した実験でも明らかなように、基板と誘導発熱体の間に介装する石英スペーサの厚みが増えると基板温度も変化してくるので、例えば、厚みが異なる石英スペーサを用い、ここに基板を載置すれば、基板表面における成長温度を、石英スペーサの傾斜面の形状に対応する温度に制御することができる。

【0018】また、石英スペーサの表面に傾斜面を有する座ぐり部を形成し、この座ぐり部を閉鎖するようにして石英スペーサに基板を載置すると、基板と石英スペーサの間には傾斜面を有する座ぐり部に相当する空隙が形成されるので、その空隙の間隔に対応して基板表面の温度が変化するようになる。抵抗加熱方式で基板を加熱する場合には、用いる抵抗体を基板周囲に適切に配置することにより、その配置に対応した温度分布を基板表面に実現することができる。

【0019】また、石英スペーサは平滑な板体とし、発

5

熱体の石英スペーサと接触側の表面上記石英スペーサのような傾斜面を形成して、発熱体と石英スペーサとの間に空隙を設けることにより半導体基板の面内温度を制御することもできる。

【0020】

【作用】本発明方法によれば、化合物半導体薄膜が成長していく半導体基板の表面では、その面内の場所によって成長温度が異なるように制御される。したがて、成長する化合物半導体薄膜の組成は、上記した成長温度によって規定され、成長後の薄膜では、その面内における組成が変化する。

【0021】

【実施例】

実施例1

本発明方法を適用して、以下の方法でモード変換導波路を製造した。ここで、目的とするモード変換導波路の概\*

$$n^2 = 1 + \frac{E_d}{E_0} + \frac{E_d}{E_0^3} \cdot E^2 + \frac{E_d \cdot E^4}{E_0^3 (E_0^2 - E_g^2)} \cdot \ell n \left( \frac{2 E_0^2 - E_g^2 - E^2}{E_g^2 \cdot E^2} \right)$$

【0024】（式中、 $E_d = 28.91 - 9.278y + 5.2626y^2$ 、 $E_0 = 3.391 - 1.652y + 0.863y^2 - 0.123y^3$ 、 $E = hc/\lambda$ 、 $E_g = 1.24/\lambda$ 、 $E_g = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$ を表し、また、 $h$ ：プランク定数、 $C$ ：光速、 $\lambda$ ：入射光の波長、 $y$ ：InPの格子整合を実現させるための定数を表す）実施例では発光波長（ $\lambda_g$ ）を1.27 $\mu m$ にすることを目的とするので、上式に基づいて算出される $n$ が3.375となるように、InP基板6の上に厚み5 $\mu m$ のInGaAsP薄膜を成長させ、これを下部クラッド層7とする。

【0025】下部クラッド層7の成膜後、InP基板を図5に示した石英スペーサ10の上に載置してMOCVD法に供した。石英スペーサ10は、全体の厚みが3.0mmで、カーボンサセプタ11に密着載置されている。そして、その表面には、深さ0.35mm、幅10mmの平坦座ぐり部10aと、表面からこの平坦座ぐり部10aに至る水平長15mmの傾斜部10bが形成されている。

【0026】すなわち、図2に関する説明の場合と同じように、この石英スペーサ10に基板6を載置すると、傾斜部10bとの間で空隙間隔が連続的に変化するので、カーボンサセプタ11を誘導発熱させたとき、基板表面の温度、すなわち下部クラッド層7の表面温度は略直線的に変化する。この状態で、下部クラッド層7の上に厚み1.0 $\mu m$ のInGaAsP薄膜を成長させコア層8を形成した。

【0027】ついで、コア層にホトリソグラフィとエッチング処理を施し、所望パターンの導波路を形成したのち、前記下部クラッド層7と同じ成膜条件で上部クラッド層9を形成し、埋込み導波路を製造した。この埋込み導波路におけるコア層の発光波長を測定したところ、

6

\*略断面構造を図4に示す。すなわち、製造目的とするモード変換導波路は、所定厚みのInP基板6の上にInGaAsPから成り、厚みが5 $\mu m$ で発光波長が1.27 $\mu m$ になる下部クラッド層7、同じくInGaAsPから成り、厚みが1 $\mu m$ のコア層8、同じくInGaAsPから成り、厚みが5 $\mu m$ で発光波長が1.27 $\mu m$ になる上部クラッド層9を順次積層したものである。

【0022】そしてこの導波路では、位置A<sub>1</sub>、位置A<sub>2</sub>で区切られた長さ10mmの領域において、コア層8における発光波長を変化させることを目的としている。まず、従来と同じようにして、InP基板6の上に下部クラッド層7を成膜する。なお、成膜材料をInGaAsPにしたとき、発光波長（ $\lambda_g$ ）に対する成長させるべきInGaAsPの屈折率（ $n$ ）は、次式で示される。

【0023】

【数1】

図4の位置A<sub>1</sub>では1.29 $\mu m$ 、位置A<sub>2</sub>では1.33 $\mu m$ であった。また、この導波路における電界分布図を図6に示した。

【0028】以上の結果から、この発光波長のシフトは、上記した式によれば、導波路の屈折率が3.385→3.405に変化していることを示している。すなわち、形成された導波路においては、位置A<sub>1</sub>から位置A<sub>2</sub>にかけて、組成変化が実現していることを示している。このことは、位置A<sub>1</sub>から位置A<sub>2</sub>にかけて、InP基板6の温度、すなわち、下部クラッド層7の表面温度が略直線的に変化していることがもたらした結果である。

【0029】実施例2

図7で示すように、InP基板6の（001）面の上に実施例1と同様にして下部クラッド層7を形成し、更にその上にSiO<sub>2</sub>膜12を成長防止膜として形成したのち、そのSiO<sub>2</sub>膜12を長手方向にその一部の幅が漸次狭くなるように除去して溝13を形成した。

【0030】この基板の溝13から露出する下部クラッド層の上に実施例1と同様の方法でInGaAsPから成るコア層を形成した。InGaAsP結晶の（111）面は成長せずに残留するので、溝13の広幅の箇所では厚く、また狭幅の箇所では薄いコア14が成長する（図8）。SiO<sub>2</sub>膜12をエッチング除去したのち、このコア14を上部クラッド層で埋込んだ。

【0031】この導波路の場合、実施例1の場合と同様に、コアの広幅部分と狭幅部分との間で屈折率の差（組成の差）が存在しているが、コア14の形状の差異によって光の閉じ込め効果はコア14の全長方向で同一となり、その結果、光の閉じ込めが概略同程度で、光のスポットサイズが変化していることとなる。

実施例3

図9で示したように、実施例1と同じようにして一定の厚みのコア層を形成し、そのコア層8の組成が変化している個所(位置A<sub>1</sub>から位置A<sub>2</sub>の部分)に複数回(図では4回)のエッチング処理を施して、コア層8の厚みを段階的に薄くし、その上に実施例1と同じように上部クラッド層を形成した(図9)。

【0032】得られた導波路は、実施例2の導波路と同じように、光の閉じ込めが概略同程度で、光のスポットサイズが変化していることとなる。

#### 実施例4

図10は、本発明方法で用いる石英スペーサの他の例を示す一部断面図である。

【0033】この石英スペーサ10は、上面10cが平滑面でここに半導体基板が載置される。そして、下面10bは、例えば面率半径が300mmの球面になっている。この石英スペーサ10をサセプタ11に載置すると、サセプタ11と石英スペーサ10の間にはドーム状の空隙が形成される。例えば、この状態で石英スペーサ10に半導体基板を載置してサセプタ11を誘導発熱させると、基板の表面温度は、ドーム状空隙の形状に対応した分布を示す。そのため、基板に成長する化合物半導体薄膜の組成もその温度に対応して変化する。

【0034】ところで、MOCVD法時における原料ガスの流れに対応して成長する化合物半導体の組成は分布する。例えば、半径約250mmの基板の場合、基板とサセプタとが密着していると、成膜された薄膜の組成分布は、その原料と装置においては、発光波長分布が約0.03μmとして表れてくる。しかしながら、実施例4の石英スペーサを用いると、上記発光波長分布を約0.01μm以下にまで改善することができる。すなわち、本発明方法によれば、面内組成がばらついている場合には、そのばらつきの影響を少なくすることができる。

#### 【0035】

【発明の効果】以上の説明で明らかなように、本発明方法によれば、基板の面内温度分布を制御することにより、そこにMOCVD法で成長させる化合物半導体の組成を任意に変えることができる。したがって、化合物半導体薄膜の機能を利用する各種デバイスにおいて、デバイスの構造とは無関係に、成膜する薄膜の組成を変化させてデバイス機能を有効に発揮させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】化合物半導体薄膜の発光波長と成長温度との関

係を示すグラフである。

【図2】MOCVD法において、半導体基板と石英スペーサとの間に空隙を形成して成膜する例を示す断面図である。

【図3】図2の方法で成膜した化合物半導体薄膜の発光波長と空隙間隔との関係を示すグラフである。

【図4】伝搬モード変換導波路を示す概略断面図である。

【図5】石英スペーサに半導体基板を載置してMOCVD法を行なう例を示す断面図である。

【図6】図5の方法で得られた導波路の電界分布図である。

【図7】成長防止膜を用いて本発明方法を実施するときの成長防止膜の例を示す斜視図である。

【図8】図7の方法で成長したコア形状例を示す斜視図である。

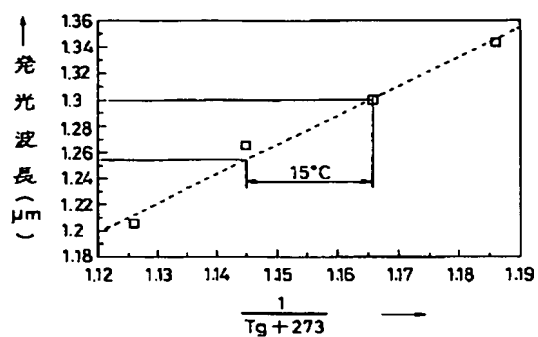
【図9】本発明の他の方法で製造した導波路を示す断面図である。

【図10】本発明で用いる他の石英スペーサを示す断面図である。

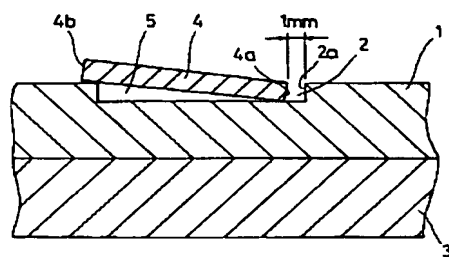
#### 【符号の説明】

- 1 石英スペーサ
- 2 座ぐり部
- 2a 座ぐり部2の一端
- 3 サセプタ(誘導発熱体)
- 4 半導体基板
- 4a 半導体基板4の一端
- 4b 半導体基板4の他端
- 5 空隙
- 6 半導体基板
- 7 下部クラッド層
- 8 コア層
- 9 上部クラッド層
- 10 石英スペーサ
- 10a 平坦座ぐり部
- 10b 傾斜部
- 10c 平滑な上面
- 10d 曲面
- 11 サセプタ(誘導発熱体)
- 12 SiO<sub>2</sub>膜(成長防止膜)
- 13 溝
- 14 成長したコア

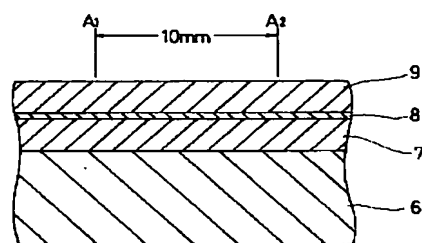
【図1】



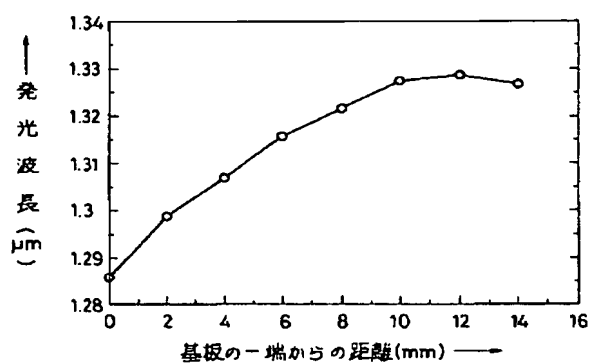
【図2】



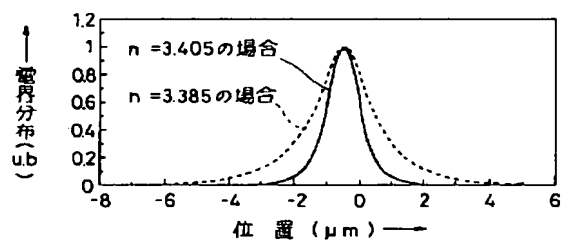
【図4】



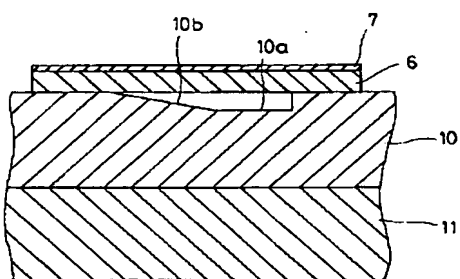
【図3】



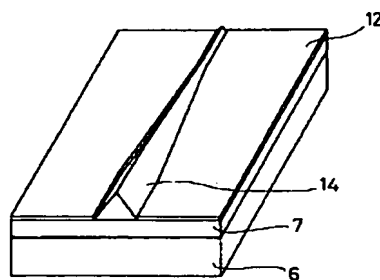
【図6】



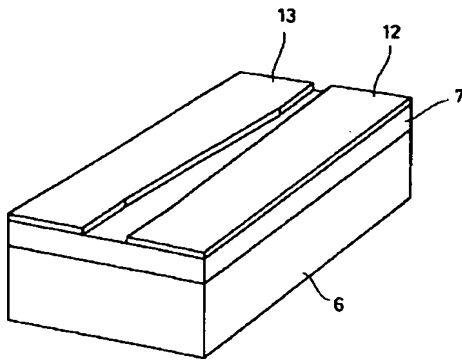
【図5】



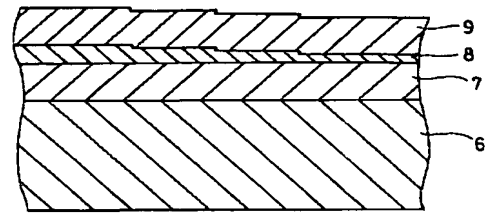
【図8】



【図7】



【図9】



【図10】

